

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.04.012

# 非对称钢筋混凝土框架结构楼房爆破拆除<sup>\*</sup>

杨建军 黄 磊 蔡 伟

南京同大爆破工程有限公司(江苏南京,210007)

[摘 要] 采用定向控制爆破对复杂环境的非对称钢筋混凝土框架结构楼房进行拆除,以 11 层蒙城永青大楼爆破拆除为实例,对爆破方案确定、预处理部分、爆破切口设计、合理的爆破参数选择以及爆破安全校核等主要方面进行了详细介绍。爆破结果表明:爆破方案保证了非对称结构定向倒塌的准确性及充分解体,达到了预期效果。可为类似爆破工程提供参考。

[关键词] 非对称;钢筋混凝土框架结构;复杂环境;预处理;爆破拆除

[分类号] TU746.5

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

在蒙城县蒙凤路道路拓宽施工过程中,永青大楼在规划拓宽道路范围内,现需要将该楼房拆除。永青大楼是一幢钢筋混凝土框架结构的高层建筑,大楼高 11 层,建筑面积约为 4 000 m<sup>2</sup>。

大楼四邻距离(图 1):

1) 西侧 2.0 m 处为高压线;蒙凤路 30.0 m 处为汇贤中学、同福招待所;西南侧 40.0 m 处为雪山饭店,80.0 m 处为 168 饭店;西北侧 80.0 m 处为光明

饭店;

2) 北侧 25.0 m 处为汽修厂;50.0 m 处为恒顺汽车维修公司;

3) 南侧 25.0 m 为万俊物流;40.0 m 处为吉祥招待所;

4) 正东侧 150.0 m 内无任何建筑,120.0 m 处为厂区道路;东北侧 50.0 m 处为民用变压器;80.0 m 处为洗衣粉厂,100.0 m 处为居民楼。

### 1.2 工程结构

需拆除的楼房为钢筋混凝土框架不对称悬挑结构,1~3 层西侧为悬挑结构;该楼房长约 28.0 m,宽约 8.0 m;1 楼层高 4.0 m,其他楼层层高 3.0 m;在楼房东北角有一个楼梯间,西南角有楼梯间和剪力墙结构的电梯井;倾倒方向有 2 排承重立柱,立柱规格为 45 cm×60 cm、45 cm×65 cm、40 cm×50 cm,楼板均为现浇板。结构布置图如图 2。

### 2 框架构筑物倒塌总体方案

拟拆除楼房为框架结构,高 35.5 m,楼梯间及电梯井位于待爆破楼房的东北端和西南端,整个结构呈“L”形,结构不对称。由于周边环境限制,采取定向向东倒塌的方案。

待爆破楼房西侧 2.0 m 为高压线,此高压线供应半个蒙城县城用电。为了使楼房定向向东倒塌,并严格防止楼房后坐<sup>[1]</sup>,采用切口内立柱排间半秒延期由东向西分段延时起爆,东侧切口内立柱加强爆破,西侧铰链立柱采用减弱爆破的方式。

爆破立柱采用双层竹笆包裹防护,爆破切口两

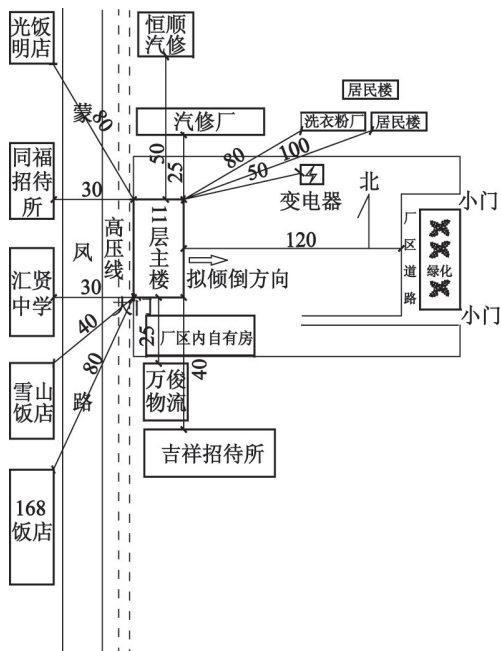
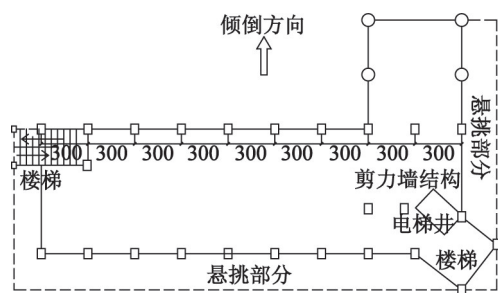


图 1 周边环境示意图(单位:m)

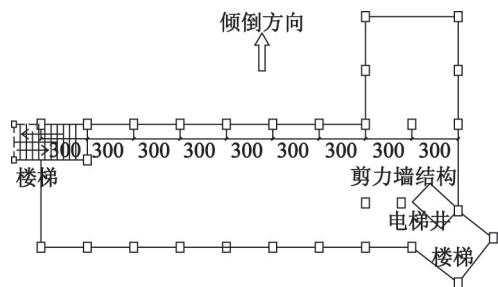
Fig.1 Schematic diagram of the surrounding environment  
(unit:m)

\* 收稿日期:2014-12-12

作者简介:杨建军(1979~),男,本科,从事爆破技术及应用。E-mail:13405812319@139.com



(a) 1~3 层结构



(b) 4~11 层结构

图 2 楼房结构图(单位:cm)

Fig. 2 Structure of the building (unit:cm)

侧搭设竹笆防护架,隔离防护个别飞石,同时防止楼房倒塌触地产生飞石,在楼房倒塌区域覆盖软土缓冲层。

## 2.1 拆除爆破设计

### 2.1.1 预处理<sup>[2-3]</sup>

1) 砖墙预处理:用破拆工具预先将 1~3 层的南北两端非承重砖墙全部破除,承重墙布设矩形孔洞,预留足够的支撑。

2) 楼梯预处理:用电镐将切口内楼梯每跑切成两段;

3) 电梯井处理:采用破碎机将切口内电梯井剪力墙爆破前预拆除。

### 2.1.2 爆破部位和破坏高度

#### 2.1.2.1 爆破部位<sup>[3]</sup>

根据周围环境和楼房高度,采用一个爆破切口来实施该大楼的爆破,即爆破 1~4 层。切口位置详见图 3。

#### 2.1.2.2 爆破高度<sup>[4-5]</sup>

通过施工实践,采用控制切口内立柱爆破高度实现框架倒塌方案,立柱爆破高度  $H$  采用以下公式计算<sup>[3]</sup>:

$$H = K(A + H_{\min}) \quad (1)$$

式中: $K$  为经验系数,取  $K = 1.5 \sim 2.0$ ;  $A$  为待爆破切口立柱截面的最大边长,取  $A = 0.65 \text{ m}$ ;  $H_{\min}$  为待爆破切口立柱最小破坏高度,取  $H_{\min} = 0.55 \text{ m}$ 。

$$H = (1.5 \sim 2.0) \times (0.65 + 0.55) \text{ m} = (1.8 \sim$$

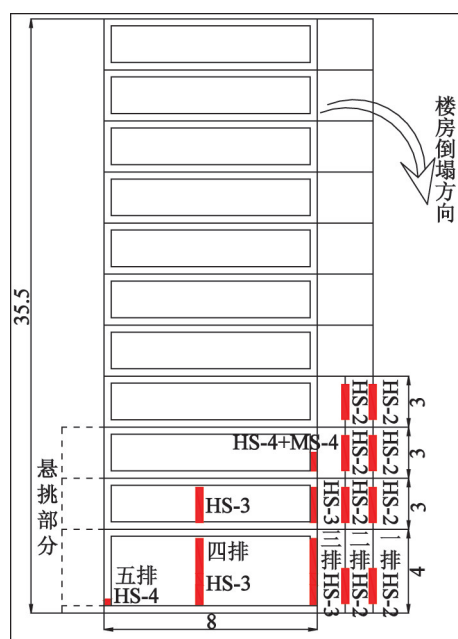


图 3 爆破切口示意图(单位:m)

Fig. 3 Schematic diagram of the blasting cuts(unit:m)

2.4) m。

立柱形成铰链部位炸高

$$H' = (1.0 \sim 1.5) A = (1.0 \sim 1.5) \times 0.65 \text{ m} = (0.65 \sim 0.98) \text{ m}。$$

选取了如下的数值:切口内 1~3 层炸高取 2.4 m,4 层炸高 1.2 m,铰链处炸高 0.65 m。

### 2.1.3 爆破参数的确定

#### 2.1.3.1 布孔参数<sup>[4-5]</sup>

1) 最小抵抗线( $W$ ):取立柱断面短边( $B$ )的一半,即  $W = B/2$ 。方柱  $W = B/2 = 50 \text{ cm}/2 = 25 \text{ cm}$ 。

2) 药孔间距( $a$ ):一般取  $a = (1.0 \sim 1.8) W$ ,施工中取  $a = 1.25 W$ 。则  $a = 1.25 W = 1.25 \times 25 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$ 。

3) 药孔深度( $L$ ):取立柱断面最大边长( $A$ )的 2/3,即  $L = A \times 2/3$ 。

4) 单孔药量( $q$ )按体积公式确定:

$$q = K \times V \quad (2)$$

式中: $q$  为单孔药量; $K$  为单耗,取  $K = 0.8 \sim 1.3 \text{ kg/m}^3$ ;  $V$  为单孔所占体积,  $V = a \cdot B \cdot A$ 。

根据式(2),对于截面面积为  $45 \text{ cm} \times 65 \text{ cm}$  的方形立柱,其单孔药量为:

$$q = K \times V = (0.8 \sim 1.3) \text{ kg/m}^3 \times 0.3 \text{ m} \times 0.45 \text{ m} \times 0.65 \text{ m} = (70 \sim 115) \text{ g}。$$

5) 堵塞长度  $L_T$ :  $L_T \geq (1.1 \sim 1.2) W$ 。

6) 装药结构:使用连续耦合装药。

按上述公式计算后,还应根据现场具体情况进行修正。爆破装药参数如表 1 所示。

表 1 爆破装药参数  
Tab. 1 Blast charging parameters

柱序号	层数(柱尺寸)/ (cm × cm)	抵抗线/ cm	孔距(孔深)/ cm	单耗/ (kg · m <sup>-3</sup> )	单孔药量/ g	孔数	药量/ g	雷管段别
1 <sup>#</sup>	一(∅70)	35.0	45(45)	1.3	220	16	3 520	HS-2
	二(45 × 60)	22.5	30(40)	1.3	105	16	1 680	
	三(45 × 60)	22.5	30(40)	1.0	80	16	1 280	
	四(45 × 60)	22.5	30(40)	0.8	65	16	1 040	
2 <sup>#</sup>	一(∅70)	35.0	45(45)	1.3	220	16	3 520	HS-2
	二(45 × 60)	22.5	30(40)	1.3	105	16	1 680	
	三(45 × 60)	22.5	30(40)	1.0	80	16	1 280	
	四(45 × 60)	22.5	30(40)	0.8	65	16	1 040	
3 <sup>#</sup>	一(45 × 60)	22.5	30(40)	1.3	110	80	8 800	HS-3
	二(45 × 60)	22.5	30(40)	1.3	110	80	8 800	
	三(45 × 60)	22.5	30(40)	0.8	65	40	2 600	
4 <sup>#</sup>	一(40 × 50)	20.0	30(35)	1.0	60	24	1 440	HS-3
	二(40 × 50)	20.0	30(35)	1.0	60	24	1 440	
5 <sup>#</sup>	一(45 × 65)	22.5	30(45)	0.8	70	30	2 100	HS-4
合计						406	40 200	

2.1.3.2 药孔布置

对于方柱,为了减小钻孔施工的难度,在离地面 30 cm 处布第一个孔。然后按照设计的孔距布孔,布孔位置见图 4。

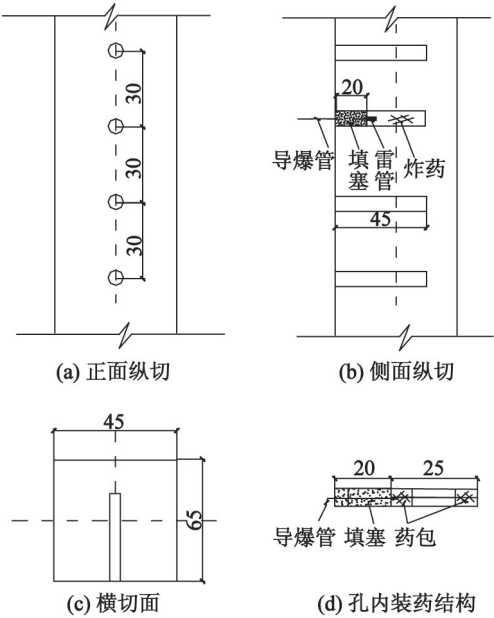


图 4 爆破布孔及装药示意图(单位:cm)  
Fig. 4 Layout of blast holes and charge  
(unit: cm)

2.1.4 爆破起爆网路

1) 毫秒延期时间的选择<sup>[6-7]</sup>。通过选择合理的延期时间控制爆破产生的振动和结构物倒塌产生的触地振动,自东向西分 4 响,每响延期雷管的选择如

表 2 所示。

表 2 每响延期雷管

Tab. 2 Delay detonator in each response				
响序	1	2	3	4
雷管段别	HS-2	HS-3	HS-4	HS-4 + MS-4

2) 网路连接方法。立柱炮孔间采用四通连接, 同层及层间立柱之间采用四通联成复式网路,第 3 层第 3 排立柱孔内 HS-4 孔外采用 MS-4 绑扎接力传爆的连接方法,最后分 2 条起爆线路延至起爆站。

2.2 爆破安全核算

2.2.1 爆破振动核算

根据爆破施工现场周边需保护建(构)筑物的要求,按式(3)<sup>[4]</sup>确定最大一段允许施工炸药量。

$$v = K \cdot K' \left( \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha}.$$

(3)

式中: $v$  为质点振动速度,cm/s; $Q$  为一次齐爆的最大药量,取 48.0 kg; $R$  为保护目标到爆点之间的距离,m; $K$ 、 $\alpha$  分别为爆点至保护对象间的与地形、地质条件有关的系数和衰减指数,取  $K = 100$ , $\alpha = 1.6$ ;  $K'$  为折减系数,取  $K' = 0.3$ 。

该工程爆破振动重点保护构筑物为北侧距离待爆大楼最近 25.0 m 处汽修厂,取  $R = 25.0$  m 计算得  $v_1 = 1.3$  cm/s,小于《爆破安全规程》许可的构造物安全振动速度 2.5 cm/s<sup>[8]</sup>。所以该爆破施工中产生的爆破振动不会对周边建(构)筑物产生危害。

## 2.2.2 塌落振动核算

楼房在爆破倒塌过程中会产生触地振动,按照本公司施工实践,采用塌落振动公式<sup>[9-10]</sup>核算本次爆破施工产生的触地振动:

$$v_t = K_t \left[ R \cdot \left( \frac{mgH}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{3}} \right]^\beta \quad (4)$$

式中: $v_t$  为落地时的冲击振动速度, cm/s;  $K_t$  为触地振动衰减系数,有缓冲层时取  $K_t = 0.6$ ;  $m$  为下落构件质量, kg;  $g$  为自由落体加速度,  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;  $H$  为构件所在的位置高度,楼高  $35.5 \text{ m}$ ,  $H = 35.5 \text{ m}$ ;  $\sigma$  为混凝土构件材料的极限应力,取  $30 \text{ MPa}$ ;  $\beta$  为触地振动衰减指数,取  $\beta = -1.67$ ;  $R$  为保护目标与触地中心的距离, m。

爆破拆除面积为  $4\,000 \text{ m}^2$ ,折合钢筋混凝土体积为  $V = 4\,000 \text{ m}^2 \times 0.45 \text{ m} = 1\,800 \text{ m}^3$ ,  $m = \rho \times V = 2.5 \text{ t/m}^3 \times 1\,800 \text{ m}^3 = 4\,500 \text{ t}$ 。本工程采用不解体倒塌方案,落地质量为构件质量的  $1/3$ ,即  $1\,500 \text{ t}$ 。

北侧距离大楼最近  $25.0 \text{ m}$  处为汽修厂,取  $R_2 = 25.0 \text{ m}$ ,计算得  $v_t = 0.62 \text{ cm/s}$ ,大楼倒塌过程中产生的触地振动小于构筑物允许的安全振动速度。

## 2.2.3 飞石防护措施

1~3 层爆破立柱侧面及装药面采用双层竹笆进行防护;4 层炸高  $1.2 \text{ m}$  利用原有结构墙防护,同时在爆破切口两侧  $15.0 \text{ m}$  处搭设  $8.0 \text{ m}$  高竹笆防护架。

## 3 爆破效果与体会

1) 爆破前会同蒙城县供电局召开爆破协调会,爆前西侧高压线停电半小时,县电力局安排电力抢修人员现场应急;

2) 大楼成功爆破(图 5),切口起爆后大楼微倾并略有下坐,楼房略偏东南向倾倒,但爆堆在设计范围内,楼房西侧  $2.0 \text{ m}$  处高压线未受影响,周围建筑物、地下市政管网完好无损,说明爆破切口设计、爆破立柱排间延期时间及铰链处炸高的选择合理;

3) 本次爆破产生的飞石最远为  $25.0 \text{ m}$ ,说明爆破单耗参数选择合理,飞石防护措施有效;



(a) 爆破前



(b) 爆破后(由北向南观测)



(c) 爆破后(由西向东观测)

图 5 爆破效果图

Fig. 5 Figures before or after blasting

4) 现场振动检测数据显示,距离大楼  $30.0 \text{ m}$  处最大振动速度仅为  $0.5 \text{ cm/s}$ ,在安全允许范围内。说明本工程采用网路延期时间合理,振动控制措施效果明显。

## 参 考 文 献

- [1] 谭海,蔡万明,曹鑫,等.复杂条件下两栋七层楼房的爆破拆除[J].爆破,2006,23(1):56-58.  
Tan Hai, Cai Wanming, Cao Xin, et al. Blasting demolition of two 7-storey buildings in complex demolition conditions[J]. Blasting, 2006, 23(1): 56-58.
- [2] 张翠兵,张承珍,邓志勇,等.11 层钢筋混凝土框架楼房爆破拆除[J].工程爆破,2003,9(2):30-32,11.  
Zhang Cuibing, Zhang Chengzhen, Deng Zhiyong, et al. Demolition of an 11-storeyed reinforced concrete frame building by blasting method[J]. Engineering Blasting, 2003, 9(2): 30-32, 11.
- [3] 高文乐,毕卫国.框架结构会议厅的定向爆破拆除[J].爆破,2006,23(3):53-55.  
Gao Wenle, Bi Weiguo. Directional blasting demolition of assembly hall in frame structure[J]. Blasting, 2006, 23(3): 53-55.
- [4] 梁锐,刘国军.复杂环境下 9 层框架楼房切割定向爆破拆除[J].爆破,2012,29(2):80-83.  
Liang Rui, Liu Guojun. Cutting directional demolition blasting of a 9-layer concrete building under complicated situation[J]. Blasting, 2012, 29(2): 80-83.
- [5] 齐世福,刘好全,李宾利,等.框剪结构高楼纵向倾倒拆除爆破研究[J].爆破器材,2014,43(3):41-47.

(下转第 59 页)



Beijing: Weapon Industry Press, 1992.

- [13] 隋树元,王树山. 终点效应学[M]. 北京:国防工业出版社,2000.

Sui Shuyuan, Wang Shushan. Terminal effects [M].

Beijing: National Defense Industry Press, 2000.

## Aggregation Performance of the Jet of Annular Shaped Charge with Offset Angle

XUE Zhen, CHEN Zhigang, HOU Xiucheng, FU Jianping

National Defense Key Laboratory of Underground Target Damage Technology,  
North University of China (Shanxi Taiyuan, 030051)

[ABSTRACT] The secondary aggregation process of the jet of annular shaped charge with offset angles was simulated by the finite element software LS-DYNA. Effects of the quality size of the aggregation jet and the cone angle of liners on the jet aggregation performance were analyzed and verified by experiment. Results are as follows. The annular shaped charge with offset angles can improve the conversion of liner material into jet, increase the continuous stretch length of jet and the velocity of jet tip, and improve the jet stability. As the cone angle increases, the velocity of secondary aggregation jet tip decreases and the diameter of jet tip increases. For the  $15^\circ$  offset angle shaped charge, smaller cavity of aggregation jet tip and better penetration effect can be generated when the cone angle is  $40^\circ$ . The results can provide a reference for the practical engineering design of annular shaped charge.

[KEY WORDS] shaped charge; annular liners; offset angle; jet; cone angle

(上接第 54 页)

- Qi Shifu, Liu Haoquan, Li Binli, et al. Blasting study on the lengthwise collapse of a tall building with a frame shear wall structure [J]. Explosive Materials, 2014, 43 (3): 41-47.
- [6] 韩文红,田永良,齐世福,等. 复杂环境下八角高楼的爆破拆除[J]. 工程爆破, 2011, 17(2): 45-48.
- Han Wenhong, Tian Yongliang, Qi Shifu, et al. Blasting demolition of an eight-angle high building under complex environments [J]. Engineering Blasting, 2011, 17(2): 45-48.
- [7] 杨国梁,杨军,姜琳琳. 框-筒结构建筑物的折叠爆破拆除[J]. 爆炸与冲击, 2009, 29(4): 380-384.
- Yang Guoliang, Yang Jun, Jiang Linlin. Numerical simulations on fold blasting demolition of frame-tube structures

[J]. Explosion and Shock Waves, 2009, 29(4): 380-384.

- [8] GB 6722—2003 爆破安全规程[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- GB 6722—2003 Blasting safety regulations [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [9] 罗海萍,谢义林. 昌荣大酒店爆破拆除[J]. 爆破, 2009, 26(2): 71-73.
- Luo Haiping, Xie Yilin. Blasting demolition of Chang-rong Hotel [J]. Blasting, 2009, 26(2): 71-73.
- [10] 周家汉. 爆破拆除塌落振动速度计算公式的讨论[J]. 工程爆破, 2009, 15(1): 1-4, 40.
- Zhou Jiahuan. Discussion on calculation formula of collapsing vibration velocity caused by blasting demolition [J]. Engineering Blasting, 2009, 15(1): 1-4, 40.

## Blasting Demolition of a Asymmetrical Building with a Reinforced Concreted Structure

YANG Jianjun, HUANG Lei, CAI Wei

Nanjing Tongda Blasting Co., Ltd. (Jiangsu Nanjing, 210007)

[ABSTRACT] An asymmetrical building with a reinforced concreted structure, which was in a complicated environment, was demolished by a directional controlled blasting scheme. The blasting demolition of an eleventh-storey building named Mengcheng Yongqing Building was taken as an example. Parameters including blasting scheme, pretreatment, design of blasting cuts, selection of reasonable blasting parameters, security checking of blasting and so on were introduced. Results indicate that the blasting scheme ensured the accuracy of the directional collapse of asymmetric structures and the full disintegration and thus anticipated demolition results are achieved. It could provide a reference for similar blasting projects.

[KEY WORDS] asymmetrical; reinforced concrete structure; complex environment; pretreatment; blasting demolition